補助事業番号　2020M-187
補助事業名　2020年度任意機体構成に対応可能な制御パラメータ未調整ドローンの自動チューニング補助事業
補助事業者名　芝浦工業大学　工学部　電気工学科　宇宙ロボットシステム研究室
安孫子聡子

１　研究の概要

少子高齢化・人手不足を背景にしたドローン産業への機体に対して，開発プロセスの効率化が望まれている状況において，本事業では，開発プロセスにおける初期基礎飛行検証プロセスでの任意の機体構成に対応する自動チューニング手法の確立を目的とする.

ここでは，一般に知られる4つのプロペラを有するクアッドロータマルチコプタのみではなく，推力方向を可変とする推力方向可変ベクトルUAVの一つであるクアッドチルトロータUAVを対象とする．本事業では，自動チューニングアルゴリズムの検証だけではなく，開発過程において，動力学シミュレーションから実機検証までのシームレスな開発プロセスをRAD(Rapid Application Development)フレームワークに基づき構築し,開発効率化を図った. 本事業の対象である推力方向可変ベクトルUAVは位置と姿勢が独立に制御するため従来型UAVのオートチューナ手法のみでは対応できない．そこで，まずは従来の手法に基づく閉ループオートチューンを検証し，その後，シンプル適応制御という手法を応用しパラメータチューニングに用いることを検討した．本事業で開発した枠組みを活用することで，より汎用的な機体開発につながると期待される.

２　研究の目的と背景

少子高齢化・人手不足を背景にドローン実運用が社会浸透し始めている．昨今は大型産業ドローンや有人ドローンを目指した動きも国内外で活発化している．　ドローンのようなロボティクスや機械設計・開発では，動力学シミュレーション検証と実機基礎飛行検証が用いられるが，実機モデルや環境モデル誤差は避けられない．空中飛行するドローンの場合，その問題が顕著である．また，昨今よく知られるオートチューニングであっても，ホバリングや高度一定飛行等の基礎飛行が可能である必要があり，かつ，任意機体構成には対応していない．そのため，実機での初期基礎飛行の実現のためには，未だ技術者の経験と勘に依存していることが多く，開発時間制約下での精神的負担は大きい.

本事業では，実機での任意の機体構成において，制御パラメータ未調整な状態からの自動チューニング技術を確立することを目指す．ここでは，一般に知られる構成のクアッドロータマルチコプタと申請者らのこれまでの研究成果を踏まえた推力方向可変ベクトルUAVの一つであるクアッドチルトロータマルチコプタを対象とする.

３　研究内容

任意機体構成に対応可能な制御パラメータ未調整ドローンの自動チューニング

(https://space.ee.shibaura-it.ac.jp/researches/autotune.html)

市販のマルチコプタUAVおよび推力方向可変のクアッドチルトロータUAVを実験用に開発し，基礎飛行を実施する。今後の発展性を考慮し，2軸クアッドチルトロータUAVについても開発・位置制御を含む基礎飛行検証を実施する。

特にここでは，オートチューンを実現する上で，姿勢のみならず，各ロータ推力を計測することで,微細な制御を行うことをめざし,オンボード推力計測装置を開発すした.同装置はロータ直下に推力方向に並進移動する可動部と機体ロッドへの固定部を設け,可動部と固定部の間の圧力センサにより推力を計測する.同装置の妥当性を検証するために，市販の力覚センサによる計測値を真値とし，最適計算の一つである内点法に基づくキャリブレーション方法，および提案機構の有効性を検証した.

また，開発プロセスにおいて，シミュレータ上で開発した制御系を実機実装するためのシームレスな開発環境を整えるために，ツールチェーンの開発を行った．ここでは，数値解析Mathworks社製MATLAB/SimulinkのEmbedded Coderを用いることで，自己開発するオートチューンアルゴリズムだけでなく，機械学習やClosed Loop Autotuner等の既存の手法も実装できる拡張性を目指した開発を行った.

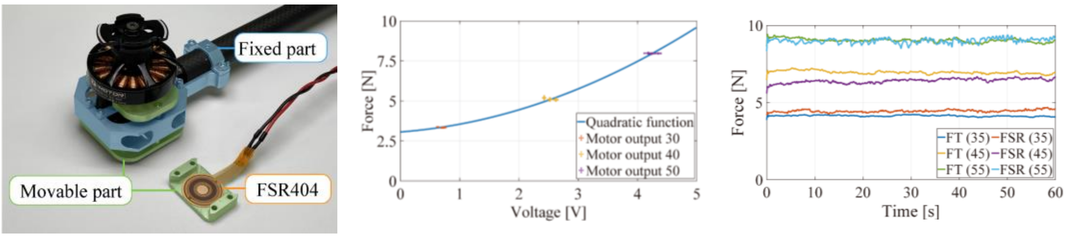

図 1 オンボード推力計測装置とキャリブレーション結果

自動チューニングアルゴリズムに関しては，本事業で取り扱う推力方向可変ベクトルUAVは位置と姿勢が独立に制御するため従来型UAVのオートチューナ手法では対応できない。そこで，本事業では，シンプル適応制御という手法を応用しパラメータチューニングに用いることを検討する。本事業で取り扱う推力方向可変ベクトルUAVおよび2軸推力方向可変ベクトルUAVへと任意の機体構成に対応したシンプル適応制御へ拡張することを目指した．以上の開発プロセスを経て，自動チューニングアルゴリズムの実機実装による飛行検証を実施した.

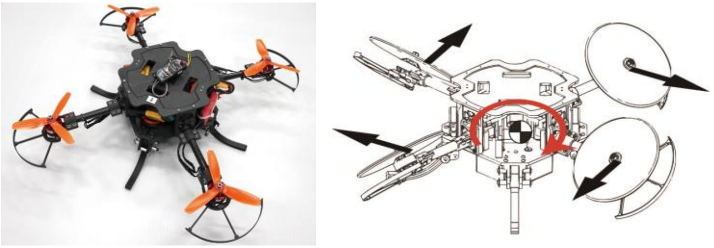

図 2　推力方向可変ベクトル UAV の外観図

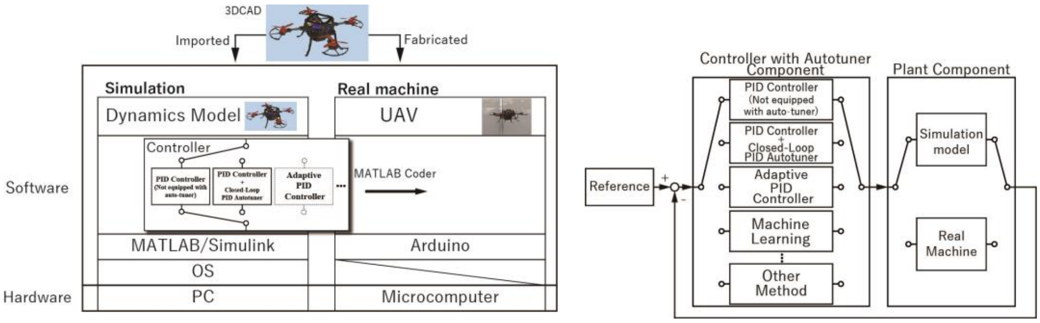

図 3　UAV 開発フレームワーク

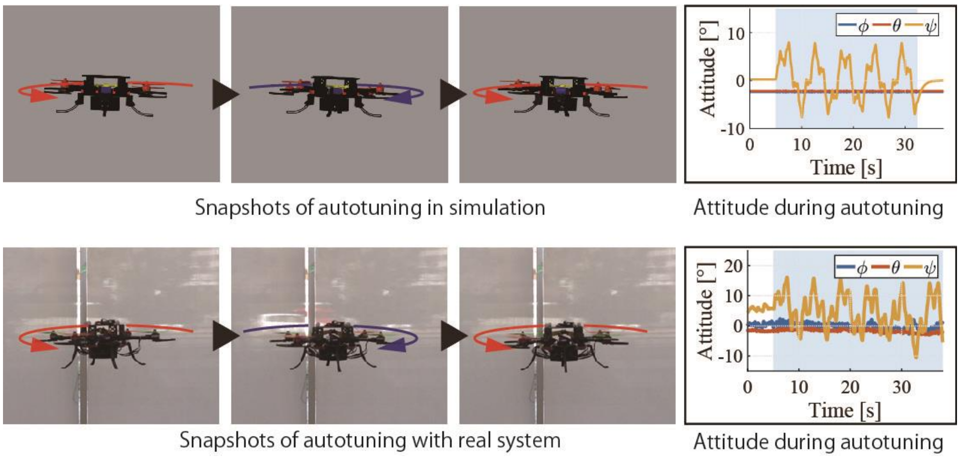

図 4　閉ループオートチューンでのパラメータチューニングの実現

４　本研究が実社会にどう活かされるか―展望

　本事業では，任意の機体構成のマルチコプタに対する自動チューニング手法の開発・検証を実施した。開発過程において，動力学シミュレーションから実機検証までのシームレスな開発プロセスを構築し，開発効率化を図った。本事業で開発した枠組みを活用することで，より汎用的な機体開発につながると期待される。

５　教歴・研究歴の流れにおける今回研究の位置づけ

本事業は，事業者がこれまで実施してきた一軸の推力方向可変ベクトルUAVや二軸の推力方向可変ベクトルUAVなどの開発過程において，従来のチューニング手法には限界があることにかねてより苦労していたことから着想を得た事業である。オープンソース等にて提供されている自動チューニング手法のみでは，上記に示すような位置と姿勢を任意に制御できる自由度が高いUAVには対応できないことから本研究を実施するに至った。本研究の成果により任意の機体構成に対しての自動チューニングの効率化が図れると期待される。

６　本研究にかかわる知財・発表論文等

①　國本 瑛大，安孫子 聡子，「2 軸チルト機構を有するクアッドロータ UAV の任意姿勢に

おける位置制御飛行」，日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 2021 講演集，1P2-B17，2021.

② 國本瑛大，安孫子聡子，吉原匠，辻田哲平，「マルチコプタのモータ独立制御のための推力測定機構の開発」，第22回システムインテグレーション部門講演会講演予稿集，pp. 1242-1246，2021（優秀講演賞）

③ 田中涼，安孫子聡子，辻田哲平，「クアッドチルトロータUAV の開発効率化のためのRAD フレームワークの構築」，日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会2022，2022. （発表予定）

７　補助事業に係る成果物

（１）　補助事業により作成したもの

本事業紹介HP　https://space.ee.shibaura-it.ac.jp/researches/autotune.html

８　事業内容についての問い合わせ先

所属機関名：　芝浦工業大学工学部（シバウラコウギョウダイガクコウガクブ）

住　　　所：　〒135-8548

東京都江東区豊洲3－7－5

担　当　者：　教授・安孫子聡子（アビコサトコ）

担 当 部 署：　宇宙ロボットシステム研究室

（ウチュウロボットシステムケンキュウシツ）

E－mail：　abiko@shibaura-it.ac.jp

U　R　L：　https://space.ee.shibaura-it.ac.jp/